

## Artículo de revisión

# Panorama de gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en pequeñas organizaciones

Panorama of quantitative management of software development process for very small entities

**Carlos A. Ardila**

*cardila@unicauca.edu.co*

**Francisco J. Pino, PhD**

*fjpino@unicauca.edu.co*

*Universidad del Cauca*

*Popayán, Colombia*

*Fecha de recepción: Julio 2 de 2013*

*Fecha de aceptación: Agosto 30 de 2013*

## Palabras clave

Gestión cuantitativa de procesos;  
mejora de procesos; medición  
y análisis; pequeñas empresas;  
revisión sistemática.

## Keywords

Quantitative process  
management; process  
improvement; measurement  
and analysis; small enterprises;  
systematic review.

**Colciencias**  
**tipo 3**

## Resumen

En la industria del software son mayoría las pequeñas empresas, y es importante que incorporen prácticas de gestión cuantitativa de procesos para reducirles su variabilidad. CMMI-DEV e ISO/IEC 15504-5 abordan gestión cuantitativa, pero son para grandes organizaciones. MoProSoft, COMPETISOFT y MPS.BR son para pequeñas empresas, pero no incluyen gestión cuantitativa. Mediante revisión sistemática de literatura se buscaron trabajos sobre gestión cuantitativa de procesos para pequeñas empresas desarrolladoras de software que indiquen cuáles prácticas efectuar y cómo ejecutarlas. Se concluye que no está disponible una propuesta integrada que incorpore prácticas de gestión cuantitativa de procesos software para este tipo de organizaciones.

## Abstract

In the software industry, small entities are majority, and is important that incorporate them quantitative processes management practices for to reduce processes variability. CMMI-DEV and ISO/IEC 15504-5 address quantitative management, but are for big organizations. MoProSoft, COMPETISOFT and MPS.BR are for the small enterprises, but not include quantitative management. Through a systematic review of literature, searched for works about quantitative process management for small software developing enterprises indicating what practices do and how to execute. As conclusion, there is not available an integrated proposal that incorporate management practices quantitative of software processes for this kind of organizations.

## I. Introducción

En la industria del software, las empresas requieren eliminar prácticas deficientes y reducir la variabilidad en la ejecución de sus procesos de desarrollo. Por lo anterior, se ven en la necesidad de abordar planes de mejora de procesos con el objetivo de alcanzar un determinado grado de calidad, en sus procesos y en sus productos software. Además, de acuerdo con Baldassarre, Boffoli, Caivano y Visaggio (2004), la mejora de procesos de desarrollo de software basada en medición, es hoy en día una actividad obligatoria; esto implica el seguimiento continuo de procesos con el fin de predecir su comportamiento y resaltar sus variaciones de rendimiento durante su ejecución. Así mismo, Díaz-Ley, García y Piattini (2008) señalan que la medición de procesos software es de importancia crítica en el control de procesos de desarrollo en términos de desempeño, de las necesidades de mejora de procesos y del seguimiento de las iniciativas de mejora. De manera similar, De la Incera Torres (2009) señala que las mediciones permiten a las empresas de desarrollo de software mejorar sus procesos, ayudar en la planificación, darle seguimiento y controlar determinados proyectos, en aras de lograr una mayor calidad. Dichas mediciones, cuando son analizadas, constituyen una base importante para una gestión efectiva por parte del equipo de desarrollo.

En consecuencia, las organizaciones requieren gestionar de manera cuantitativa sus procesos de desarrollo de software aplicando técnicas estadísticas. La gestión cuantitativa de procesos, según Gou, Wang, Yuan, Yang, Li y Jiang (2009), proporciona una visión del grado de cumplimiento de metas así como las causas profundas que expliquen desviaciones significativas en procesos o productos. Tal como lo expresa Bozheva (2011), el propósito de la gestión cuantitativa es dirigir un proyecto u organización a base de un conocimiento cuantitativo (medible, determinable) de los aspectos de importancia crítica; en su mayoría estos aspectos son procesos cuyo rendimiento afecta en forma significativa al logro de los objetivos del proyecto y la satisfacción de los clientes. Como se puede apreciar, la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software es importante, ya que permite determinar factores incidentes en estos procesos de modo que sea posible reducir su variabilidad y así disponer de procesos más controlables.

Por otra parte, debido a que las pequeñas empresas representan una porción considerable de la industria del software, —en Colombia conforman alrededor del 90%, según Fedesoft (2010)—, es importante que ellas conozcan y hagan uso de diversos aspectos sobre gestión cuantitativa de procesos software enfocados en este tipo de empresas, lo que daría una posibilidad de fortalecer la industria nacional del software. Ahora bien, es cierto que existen varios modelos de referencia para la mejora y evaluación de los procesos de desarrollo software como CMMI-DEV (CMMI Product

Team, 2010), ISO/IEC 15504-5 (2006) e ISO/IEC 12207 (2008). Sin embargo, tal como lo expresan Calvo-Manzano, García y Arcilla (2008), debido a que esos modelos han sido orientados a las grandes organizaciones –y que además muy pocos estudios han centrado su interés en el uso de las prácticas efectivas hacia las características de las pequeñas organizaciones–, el conocimiento de los modelos por parte de éstas ha sido débil. Además, aunque se han elaborado modelos de referencia para pequeñas organizaciones como MoProSoft (NYCE, 2011), COMPETISOFT (2008) y MPS.BR (Melhoria de Processo do Software Brasileiro, 2012), éstos no ofrecen elementos para llevar a cabo gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software.

El artículo presenta una revisión sistemática de la literatura para determinar la disponibilidad de trabajos que reporten iniciativas específicas para pequeñas empresas desarrolladoras de software, tales como marcos conceptuales o guías técnicas que indiquen cuáles prácticas de gestión cuantitativa pueden efectuar esta clase de organizaciones, y que también muestren cómo deben ejecutarse. La estructura del artículo es la siguiente: la sección 2 describe el protocolo de la revisión. La sección 3 reporta los resultados de la revisión sistemática incluyendo inspección de referencias, categorización de los estudios primarios y el estado del arte. Por último, la sección 4 ofrece las conclusiones.

## II. Metodología

La revisión sistemática de la literatura es un medio para identificar, evaluar e interpretar investigaciones relevantes disponibles en un área temática (Kitchenham & Charters, 2007). Para ejecutar la revisión sistemática, se consideraron las directrices presentadas por Kitchenham y Charters (2007), la plantilla de protocolo definida por Biolchini, Gomes, Cruz y Travassos (2005) y el procedimiento propuesto por Pino, García y Piattini (2008). En esta sección se presentan el enfoque de la pregunta, el problema y la pregunta de investigación que se establecieron para la presente revisión sistemática, y en la Tabla 1 se muestran los demás elementos constitutivos del protocolo de la revisión sistemática en su etapa de planeación.

**Enfoque de la pregunta.** La meta de la revisión sistemática llevada a cabo fue identificar propuestas relacionadas con gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en empresas muy pequeñas, también conocidas como VSEs que se caracterizan por tener una cantidad de empleados menor o igual a 25 de acuerdo con ISO/IEC 29110:2011.

**Problema.** En la industria del software se busca que los procesos de desarrollo tengan niveles altos de madurez lo cual es posible mediante un enfoque cuantitativo para entender las variaciones inherentes a los procesos, así como las causas de sus resultados (CMMI Product Team, 2010). La gestión cuantitativa de procesos agrupa un conjunto de elementos necesarios para recopilar y analizar por medio de técnicas estadísticas la información obtenida de los procesos, buscando reducir su variabilidad al ejecutarse. Esta información puede soportar la toma de decisiones para alcanzar

niveles altos de madurez representados en un estado de mejora continua de los procesos de desarrollo de software. Sin embargo, el uso de técnicas estadísticas para apoyar la gestión cuantitativa de procesos aún no es aceptado con amplitud ni aplicado con frecuencia en la industria del software, debido a que las actividades de desarrollo de software se centran más en los procesos que en el producto, lo que dificulta su aplicación directa (Komuro, 2006).

Una evidencia en favor de esta situación aparece en Software Engineering Institute (2011), en donde reportan los resultados de las evaluaciones SCAMPI clase A; allí se aprecia que de un total de 4220 organizaciones evaluadas solo el 1.6% ha alcanzado el perfil de madurez que se denomina *gestionado en forma cuantitativa*. Ahora bien, se encuentra que de un total de 4197 organizaciones que han reportado datos sobre su tamaño, el 20.3% (852) está representado por VSEs, de las cuales solo el 0.4%, es decir, solo tres empresas de un total de 852, ha alcanzado el perfil de madurez que se denomina *gestionado en forma cuantitativa*. En consecuencia, se considera oportuno y adecuado explorar formas de aplicación de los conceptos mencionados para las VSEs con el fin de apoyar la industria de software.

**Pregunta.** ¿Cuáles son los enfoques existentes sobre gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software orientado a empresas muy pequeñas y de los cuales haya propuestas reportadas en la literatura?

**Tabla 1.** Elementos etapa de planeación de la revisión sistemática

<b>Palabras clave y sinónimos</b>	Very small, small, enterprises, organizations, companies, team, firms, settings, VSE, quantitative, management, statistical, process, control, metrics, maturity, six sigma, software process.
<b>Intervención</b>	Analizar diversos trabajos concernientes a gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software llevada a cabo en VSEs.
<b>Efecto</b>	Identificación de prácticas en procesos en desarrollo software que incluyan técnicas estadísticas, registro de factores clave y estrategias utilizadas para correcta implementación de gestión cuantitativa en VSEs.
<b>Resultado</b>	Estado del arte respecto a la disponibilidad de propuestas que permitan efectuar gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en VSEs, a partir del cual plantear una propuesta de investigación que pueda aportar a esta área de conocimiento.
<b>Población Objetivo</b>	Propuestas de investigación sobre gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en VSEs publicadas en la lista de fuentes.
<b>Definición de criterios de selección de fuentes</b>	Las fuentes se identificaron a partir del juicio de expertos en el área de investigación, que es el ámbito de la revisión sistemática.
<b>Idioma</b>	Se seleccionaron fuentes en inglés y español.

**Tabla 1.** Elementos etapa de planeación de la revisión sistemática (cont.)

<b>Identificación de fuentes</b>	<p>Método de búsqueda: La ejecución de la búsqueda de resultados primarios se hizo con el motor de búsqueda de <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a></p> <p>Cadenas de búsqueda:</p> <p>CADENA A: ("very small" OR small) <b>AND</b> (enterprises OR organizations OR COMPANIES OR team OR firms OR settings) <b>AND</b> ("quantitative process management" OR "statistical process control" OR "six sigma") <b>AND</b> "software process"</p> <p>CADENA B: (enterprises OR organizations OR COMPANIES OR team OR firms OR settings) <b>AND</b> ("quantitative process management" OR "statistical process control" OR "six sigma") <b>AND</b> "software process"</p> <p>Lista de fuentes. Se usó <a href="http://www.scopus.com">www.scopus.com</a>. Además, se revisaron trabajos de los que ya se tenía conocimiento.</p>
----------------------------------	---

**III. Resultados**

**A. Ejecución de las búsquedas e inspección de referencias**

Las búsquedas se efectuaron en el sitio web de Scopus ([www.scopus.com](http://www.scopus.com)) y se encontraron 72 referencias. Para determinar si los artículos encontrados se relacionaban con propuestas para efectuar gestión cuantitativa de procesos en planes de mejora orientados a pequeñas empresas se utilizó como criterio de exclusión el análisis del título, el abstract y las palabras clave de las 72 referencias encontradas. Una vez aplicado este criterio, se seleccionaron 46 referencias, pero no todos los artículos seleccionados ofrecían la opción de descarga por parte de quien lo había publicado, de modo que en total se contabilizan 33 artículos disponibles, los cuales integraron el grupo de estudios primarios.

En la Tabla 2 se resume el conteo de artículos encontrados, artículos seleccionados y artículos disponibles discriminados por las cadenas de búsqueda.

**Tabla 2.** Conteos de artículos

Obtenidos con	Encontrados	Seleccionados	Disponibles
Cadena A	35	17	13
Cadena B	29	22	15
Comunes a las 2 cadenas	8	7	5
Totales	72	46	33

**B. Caracterización de los estudios primarios analizados**

Al explorar los 33 estudios primarios, se establecieron 9 categorías estructurales con el fin de caracterizar el estilo del producto ofrecido en cada artículo y también para cuantificar las

tendencias mayoritarias en este aspecto. El nombre de la categoría estructural, su definición y la cantidad de estudios primarios por categoría estructural se muestran en la Tabla 3.

Teniendo en cuenta que el objetivo de la búsqueda fue determinar la disponibilidad de trabajos que reporten iniciativas específicas para pequeñas empresas desarrolladoras de software, tales como marcos conceptuales o guías técnicas que indiquen cuáles prácticas de gestión cuantitativa pueden efectuarse por esta clase de organizaciones, al momento de verificar el tema desarrollado en los artículos, se identificaron las siguientes seis categorías temáticas: aspectos generales en mejora de procesos; armonización de modelos; medición y análisis; propuestas en el entorno de las VSEs; planteamiento y aplicación de métodos propios para efectuar gestión cuantitativa; y gestión cuantitativa de procesos software con Six-sigma. El nombre de la categoría temática y el respectivo conteo se muestran en la Tabla 4.

En la Tabla 5 se presenta una clasificación de los estudios primarios por año de publicación. Se observa que la mayoría de los artículos publicados después de 2008 toman elementos tanto técnicos como conceptuales de gestión cuantitativa de procesos y los enlazan con actividades de nivel estratégico o con las metas de negocio de las organizaciones. Este enfoque, al ser novedoso, podría explicar el hecho que haya poca gente investigando al respecto. Sin embargo, se considera importante que la temática de gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en VSEs se siga abordando, en razón de los beneficios y aportes que ella puede ofrecer a las pequeñas organizaciones.

**Tabla 3.** Categorías estructurales y conteo de estudios primarios

Categoría estructural	Definición de la categoría	Conteo
Modelo	Estudios en los que solo se presenta la formulación y descripción de un modelo	1
Modelo + Caso de estudio	Estudios en los que se presenta la formulación y descripción de un modelo junto con su aplicación en caso de estudio	1
<i>Framework</i>	Estudios en los que solo se presenta la formulación y descripción de un <i>framework</i>	4
<i>Framework</i> + Caso de estudio	Estudios en los que se presenta la formulación y descripción de un <i>framework</i> junto con su aplicación en caso de estudio	4
Enfoque / Método / Proceso	Estudios en los que solo se presenta la formulación y descripción de un enfoque, un método, una técnica o un proceso	5
Enfoque / Método / Proceso + Caso de Estudio	Estudios en los que se presenta la formulación y descripción de un enfoque, un método, una técnica o un proceso junto con su aplicación en caso de estudio	7
Solo caso de estudio	Estudios en los que se reportan análisis de problemas o se efectúa un estudio de casos.	8
Revisión de Literatura	Estudios en los que se presenta revisión de literatura	1
Otro	Estudios que incluyen una reflexión	2

**Tabla 4.** Categorías temáticas y conteo de estudios primarios

<b>Categoría temática</b>	<b>Conteo</b>
Aspectos generales en mejora de procesos	8
Armonización de modelos	2
Medición y análisis	5
Propuestas en el entorno de las VSEs	4
Planteamiento y aplicación de métodos propios para efectuar gestión cuantitativa	5
Gestión cuantitativa de procesos software con Six-sigma	9

**Tabla 5.** Conteo de estudios primarios por año de publicación

<b>Año de publicación</b>	<b>Cantidad</b>
2011 (hasta agosto)	3
2010	5
2009	7
2008	9
2007	4
2006	2
2003	1
2001	1
2000	1

### **C. Estado del arte**

En esta sección se presenta el estado del arte elaborado a partir del análisis de los estudios primarios obtenidos mediante la revisión sistemática de la literatura. El contenido está organizado de acuerdo con las categorías temáticas indicadas en la Tabla 4.

#### **1. Mejora de procesos**

En empresas desarrolladoras de software, los planes de mejora de procesos pueden afectarse, según Rainer y Hall (2003), por estos factores: entrenamiento y tutoría, revisiones periódicas, correcta adopción y manejo de estándares y experiencia del personal; además, existe gran variabilidad en el éxito de esos planes debido a los factores que afectan los procesos software y las estrategias usadas para investigarlos. Por su parte, Nasir, Ahmad y Hassan (2008a, 2008b) identifican y califican 25 factores de resistencia evidenciados por algunas organizaciones al implementar programas de mejora de procesos de desarrollo de software. Concluyen que el mayor factor de resistencia es la falta de compromiso en todos los niveles de las organizaciones, el segundo factor es la falta de participación de los individuos involucrados en proyectos de mejora; y el tercer factor es la falta de liderazgo y respaldo desde el nivel más alto



de dirección. Sin embargo, acotan que la muestra solo cubre 29 compañías en 6 estados de Malasia (Nasir et al, 2008c).

Además, Subramanian, Jiang y Klein (2007) sostienen que una organización reflejará mayores niveles de madurez si ejecuta estas estrategias: simplicidad (trabajar solo con lo necesario), participación y apoyo del nivel directivo, capacitación del personal y desarrollo evolutivo o basado en prototipos. Galinac (2009) plantea un conjunto de buenas prácticas a adoptar para implementar un plan de mejora, entre ellas: participación de los desarrolladores, equipo base para el plan de mejora, entregables pequeños, monitoreo, iteraciones y revisiones frecuentes, procesos uniformes y mediciones.

Adicionalmente, Albuquerque, Rocha y Lima (2009) identifican 7 factores de éxito en programas de mejora de procesos de desarrollo de software y presentan un proceso denominado *Evaluación y mejora de los activos de proceso* para guiar la definición y ejecución de un proceso software con el fin de mejorar los procesos organizacionales estándar usando datos recolectados de los proyectos. En una línea afín, Asato, Spinola, Costa y De Farias Silva (2011) describen una hoja de ruta basada en *Balanced Score Card* [BSC] y *Practical Software Measurement* [PSM], que traduce los objetivos estratégicos de las organizaciones software en indicadores de proceso manejables, y concluyen que esta hoja de ruta permite alinear las estrategias de negocio con la mejora de procesos en una compañía de software; también expresan que durante la aplicación de esa hoja de ruta fue posible demostrar cómo las acciones en mejora de procesos resultaron en aumento de los ingresos de la organización.

## **2. Armonización de modelos**

Trabajos como el de Baldassarre, Caivano, Pino, Piattini y Visaggio (2011) reseñan las faltas de métodos, técnicas o directrices que orienten a las organizaciones en forma operativa en la implementación y gestión de modelos de referencia para mejora de procesos de desarrollo de software. En ese sentido, en este trabajo se presenta un proceso teórico de armonización el cual se aplica de manera específica a los modelos CMMI-DEV (CMMI Product Team, 2010) e ISO 9001:2008 mostrando cómo usar el enfoque *Goal Question Metric* [GQM] para definir metas operativas según las especificaciones de ISO 9001, reutilizables en evaluaciones CMMI. La idea de armonizar múltiples modelos de referencia para mejora de procesos con el fin de generar alternativas para diversos entornos organizacionales ha motivado otros trabajos que son reseñados por Pardo, Pino, García, Piattini y Baldassarre (2010).

## **3. Medición y Análisis**

Ha existido interés por la medición y el análisis de datos en los procesos de desarrollo de software, de acuerdo con Kanoun (2001) que aunque está más orientado a un aspecto particular, debido a que habla sobre mejora de la confiabilidad del software, aborda lo referente al análisis de conjuntos de datos comprensibles y consistentes a partir de varios proyectos de software. Para propósitos de confiabilidad, menciona tres actividades principales: análisis descriptivo, análisis de tendencia y evaluación de confiabilidad. Enuncia que el control de las



actividades de desarrollo permite la detección a tiempo de posibles desviaciones del objetivo, que en este caso es la mejora en la confiabilidad del software.

Kojima, Hasegawa, Misumi y Nakamura (2008) desarrollan un método de aplicación general para identificar el riesgo de fallos para un proyecto en sus etapas tempranas de modo que puedan tomarse contramedidas para reducir el riesgo. Con el fin de mejorar la habilidad para ejecutar pronósticos relevantes, proponen una lista de variables críticas de pronóstico para distinguir entre proyectos exitosos y proyectos fracasados a partir de un exhaustivo análisis estadístico de los datos acumulados en el sistema RATS (*Risk Assessment and Tracking System*). Agregan que la regresión lineal no es un método muy confiable con proyectos muy grandes, por lo que, con el fin de evaluar el riesgo de fallo, desarrollaron un método estadístico sólido que puede amoldarse tanto a proyectos *normales* como a proyectos de gran tamaño, de manera simultánea.

En la propuesta de Díaz-Ley et al. (2008) se describe el *framework* MIS-PyME que provee a empresas medianas y pequeñas con las guías metodológicas necesarias para definir programas de medición basados en indicadores, con el fin de soportar metas de mejora de procesos acordes con su nivel de madurez en medición de software. Barreto y Rocha (2010) expresan que las iniciativas de mejora de procesos de desarrollo software necesitan alinearse con las metas de negocio de la organización; presentan un enfoque para definir y monitorear metas de mejora de procesos promoviendo su alineación con el nivel estratégico. En las empresas software, el control de las metas depende de las medidas de software; así, estas organizaciones también necesitan planear cómo medir sus procesos y productos, por lo que sugieren el uso del Control Estadístico de Procesos [CEP] como un medio para monitorear los procesos de desarrollo de software. En un sentido similar, Mandic y Oivo (2010) presentan la herramienta SAS (*Strategies Abstraction Sheet*), la cual está diseñada para ser usada con el enfoque de estrategias GQM+, con el fin de ayudar a la industria del software a desarrollar programas de medición que estén en consonancia con las metas de negocio.

#### 4. Propuestas en el entorno de las VSEs

Silva Filho y Da Rocha (2010) desarrollan un enfoque para facilitar el modelado de simulaciones de procesos software en pequeñas y medianas empresas y describen una experiencia sobre identificación de debilidades y oportunidades de mejora para soportar la evolución de ese enfoque; también reportan que algunas de las dificultades para construir un modelo de simulación en una pequeña empresa son la escasez de datos históricos y la falta de conocimiento en análisis de datos.

Con respecto a las pequeñas empresas, Dyba (2000) plantea que la improvisación, entendida como la disposición a explorar y experimentar nuevas ideas, es un enfoque de mejora que puede ayudar a entender mejor la relación entre acción y aprendizaje en esta clase de empresas, y que por ello las VSEs requieren estrategias de mejora que estén alineadas con comportamientos exploratorios, mientras que de manera simultánea promueven la explotación de experiencias pasadas.

Lee, Kim y Lee (2008) describen cómo unir metodologías ágiles con CMMI, y en particular sincronizan actividades de *Extreme Programming* con los procesos de CMMI Nivel de madurez 2 y establecen un nuevo modelo de proceso para pequeñas y medianas empresas. Kim y Lee (2009) presentan una guía para selección de un modelo de cuestionarios de madurez y también ejecutan un esfuerzo por crear un cuestionario de madurez teniendo como base CMM y SPICE enfocado a VSEs.

### 5. Gestión cuantitativa de procesos software

Tarhan y Demirörs (2006) explican un enfoque utilizado para la evaluación de los procesos software y de las métricas a tener en cuenta para iniciar la implementación de Control Estadístico de Procesos por medio de gráficos de control. En su enfoque, se encaminan en dos requerimientos básicos para su implementación: el muestreo racional de ejecución de procesos y datos; y la utilización de datos de métricas para análisis estadístico. Por último, expresan que al establecer directrices para muestreo racional y para utilización de métricas, una organización puede aplicar técnicas de Control Estadístico de Procesos y así alcanzar la capacidad de entender sus procesos basados en datos cuantitativos.

Vijaya y Arumugam (2010) ofrecen, para compañías con nivel 3 de CMMI, una solución al problema de cómo podrían gestionar sus procesos usando gráficos de control con límites tres (3) sigma y también ejecutan un caso de estudio en donde analizan datos de siete proyectos. Concluyen que los gráficos de control son eficientes en el mantenimiento de la calidad de software y pueden utilizarse por parte de empresas desarrolladoras de software con menor nivel de madurez.

Wang et al. (2007) proponen un método empírico para identificar objetivos de rendimiento, definir una línea base de rendimiento y establecer un modelo de gestión cuantitativa para procesos de prueba de software. Los pasos son: estimar el esfuerzo de detección de defectos, el esfuerzo de corrección de defectos y el número de defectos inyectados en cada fase durante la planeación del proyecto basados en la línea base de rendimiento; y recolectar datos relacionados con defectos y re-estimar el esfuerzo de corrección de defectos cuando los actuales objetivos de desempeño tengan anomalías. Reportan que el 80% de los defectos analizados se debe a requerimientos poco claros y requerimientos inconsistentes.

La anterior propuesta se extiende en Gou et al. (2008) donde presentan el método BiDefect (*process-performance Baselines based iteration Defect management*) para dar soporte a la gestión cuantitativa de defectos en desarrollo iterativo, y reportan una experiencia en una compañía china de telecomunicaciones (*ZZNode Technologies Company Limited*), que aplicó con éxito el método BiDefect para estimación, análisis, re-estimación y control de defectos para proyectos de desarrollo de carácter iterativo. Al usar ese método, Gou et al. (2009) concluyen que el respaldo del nivel directivo de una organización es crucial para la implementación exitosa de gestión cuantitativa, y que además, los objetivos de mejora de procesos y la gestión cuantitativa deben respaldar los objetivos de negocio de la organización.

## 6. Gestión cuantitativa de procesos software con Six-sigma

Algunas iniciativas sobre gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software, adaptan técnicas y prácticas de la metodología Six-Sigma, como se indica a continuación.

Xiaosong, Zhen, Fangfang, y Shenqing (2008), basados en el proceso DMAIC de Six-Sigma, establecen un modelo de procesos de ingeniería de software, en el que aplican Six-Sigma para construir el modelo requerido por el proceso de ingeniería. Está conformado por: el modelo de gestión de procesos de software basado en DMAIC; el modelo de procesos de ingeniería de requerimientos basado en IDOV (*Identify, Design, Optimize, Verify*); y herramientas y métodos de Six-Sigma para gestión de calidad. Sus resultados indican que este método es factible en la gestión de calidad de software.

Lin, Cai, y Li (2009) conducen una investigación sobre métodos de gestión Six-Sigma y tecnologías relacionadas, y proponen un método de gestión y análisis de proyectos Six-Sigma basado en esa investigación; también reportan una herramienta software para gestión y análisis de esa clase de proyectos. Lo anterior con el fin de asegurar que los recursos se usan de manera efectiva en el progreso del proyecto con procesos Six-Sigma y que los procesos de proyecto están controlados de forma efectiva. Por su parte, Deshmukh y Lakhe (2009) presentan un estudio orientado al desarrollo y validación de un instrumento para la implementación de Six-Sigma en pequeñas y medianas empresas de la India. Identifican doce factores críticos en Six-Sigma e indican los 42 ítems del instrumento de implementación. Plantean que las empresas pueden usar estas medidas de manera individual o generar un esquema de prácticas Six-Sigma a usar en toda la organización.

Park, Park, Choi y Baik (2006) expresan que utilizar *Personal Software Process* [PSP] junto con Six-Sigma, permite analizar datos y mejorar de manera sistemática el rendimiento del proceso; relacionan las herramientas Six-Sigma con cada proceso de PSP para mostrar que las técnicas Six-Sigma pueden aplicarse a datos de PSP e indicar el uso práctico de las guías Six-Sigma para soportar actividades de mejora de procesos, tanto individuales como grupales. Esto se extiende en el trabajo de Park, Choi y Baik (2007) donde presentan un *framework* que guía cómo y dónde se enfocan las herramientas Six-Sigma dentro de PSP o *Team Software Process* [TSP], el cual tiene dos vistas: la primera, por procesos PSP; la segunda, por procesos TSP. Concluyen que el aumento de rendimiento, tanto individual como de equipo, puede alcanzarse al identificar problemas y analizar medidas, lo cual provee fundamento para aplicar Six-Sigma en un proyecto completo e incluso en toda la organización.

Esto se complementa en el trabajo de Pan, Park, Choi y Baik (2007), donde implementan el *framework* en la herramienta web SSPMT (*Six-Sigma Project Management Tool*) y presentan los pasos para ejecutar un proyecto Six-Sigma para mejora de procesos software al usar SSPMT. Concluyen que el *framework* sugerido y la herramienta SSPMT son beneficiosas en el inicio y durante la ejecución de proyectos Six-Sigma, facilitando la recolección y análisis de datos, y estandarizando la ejecución de los procesos de un

proyecto Six-Sigma para conseguir las metas del proyecto y las metas de negocio de la organización.

Kim, Choi y Baik (2011) extienden los tres trabajos antes mencionados y presentan una combinación entre Six-Sigma, PSP/TSP y las herramientas software SSPMT, JASMINE y ALADDIN. Los autores muestran un procedimiento detallado de siete pasos, usando las herramientas software mencionadas, para gestionar proyectos de manera cuantitativa para cada ciclo requerido en un proyecto de desarrollo de software. El objetivo es dar soporte cuantitativo para toma de decisiones sobre rendimiento de procesos en proyectos de desarrollo de software. Concluyen que al implementar su propuesta, una organización puede mejorar, de manera continua, sus procesos con base en datos analíticos y empíricos, y alcanzar un nivel CMMI más alto.

Como reflexión, Russ, Sperling, Rometsch y Louis (2008) enuncian que una notable dificultad en el campo de la Ingeniería de Software radica en que con frecuencia tiene que tratar con medidas *suaves* (estimación, clasificación, evaluación) en lugar de medidas *duras* (tiempo, longitud, peso). Los datos provenientes de medidas *suaves* con frecuencia son de naturaleza no continua y así son menos ricos en relación con la información que se puede extraer de ellos. Por lo tanto, el análisis cuantitativo es un desafío en el campo de la Ingeniería de Software que requiere de una cuidadosa aplicación de mediciones y estadísticas. Por ello, instan a aplicar Six-Sigma, para obtener estos beneficios: permitir la toma de decisiones basada en hechos en vez de suposiciones y dar confianza en el significado de las conclusiones.

Van Solingen (2009) expresa que las compañías de software que adopten Six-Sigma para estructurar sus mejoras aventajarán, en forma apreciable, a sus competidores debido a que sus esfuerzos de mejora contribuyen de manera franca al balance financiero. Algunos beneficios son: incorporar mediciones de valor directas en todo lo que se intente mejorar; proveer conocimiento de cómo las actividades en realidad contribuyen al balance financiero; llegar a un compromiso de gestión debido a que se tiene la capacidad de indicar y medir valor; ayudar a estabilizar el rendimiento de procesos; establecer habilidades de gestión estadística y de calidad para el personal que sean llevadas al desarrollo de software y la mejora de procesos.

## Conclusiones

En este artículo se ha presentado una revisión sistemática de la literatura para determinar la disponibilidad de trabajos que reporten iniciativas específicas para pequeñas empresas desarrolladoras de software, tales como marcos conceptuales o guías técnicas que indiquen cuáles prácticas de gestión cuantitativa pueden efectuarse por esta clase de organizaciones y muestren cómo deben ejecutarse. Igualmente se ha presentado el estado del arte en el que se destaca lo abordado en la sección III.C.5 –donde se reportan estudios en los que se plantean y aplican

métodos propios para efectuar gestión cuantitativa—, y lo presentado en la sección III.C.6 —donde se recopilan estudios sobre adaptación de la metodología Six-Sigma en programas de mejora de procesos de desarrollo de software—.

La mayoría de los estudios primarios involucrados en esta revisión sistemática de la literatura están orientados a la definición de modelos y guías, propuestas sobre medición y mejora de procesos. Son una minoría los relacionados de manera directa con análisis estadístico de datos y Control Estadístico de Procesos de desarrollo de software.

En los estudios primarios donde se definen e implementan propuestas para gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software, se observa que solo abordan aspectos de un área en particular como la gestión de defectos, la gestión de riesgos o las pruebas de software. También se observa que la mayoría de los estudios primarios que se publicaron después de 2008 toman algunos elementos, técnicos o conceptuales, sobre gestión cuantitativa de procesos y los llevan a un nuevo nivel, en donde los enlazan con las actividades de nivel estratégico o con las metas de negocio de las organizaciones.

A partir de la revisión sistemática que se ha aplicado y el estado del arte descrito, en definitiva se observa que no está disponible una propuesta integrada que relacione prácticas, actividades y guías de uso específicas que puedan ayudar a las pequeñas empresas a efectuar gestión cuantitativa en sus procesos de desarrollo de software, y esto se debe a que ninguno de los artículos ofrece una propuesta con las características mencionadas. En este sentido, se requiere investigar en este tema con el fin de aportar elementos que permitan una mejor comprensión y aplicación de la gestión cuantitativa de procesos de desarrollo de software en VSEs con el fin de reducir su variabilidad cuando sean ejecutados. *ST*

## Referencias bibliográficas

- Albuquerque, A.B., Rocha, A.R. & Lima, A.C. (2009). Software process improvement: Supporting the linking of the software and the business strategies. *Lecture Notes in Business Information Processing 32 LNBIP*, 347-361
- Asato, R., Spinola, M.M., Costa, I., & De Farias Silva, W.H. (2011). Alignment between the business strategy and the software processes improvement: A roadmap for the implementation. *Producao 21 (2)*, 314-328
- Baldassarre, T., Boffoli, N., Caivano, D., & Visaggio, G. (2004). Managing Software Process Improvement (SPI) through Statistical Process Control (SPC). *Lecture Notes in Computer Science*, 3009, 30-46
- Baldassarre, T., Caivano, D., Pino, F.J., Piattini, M., & Visaggio, G. (2011). Harmonization of ISO/IEC 9001:2000 and CMMI-DEV: from a theoretical comparison to a real case application. *Software Quality Journal*, 1-27
- Barreto, A.O.S. & Rocha, A.R. (2010).

- Defining and monitoring strategically aligned software improvement goals. *Lecture Notes in Computer Science*, 6156, 380-394
- Biolchini, J., Gomes, P., Cruz, A., & Travassos, G. (2005). Systematic Review in Software Engineering. *Rio de Janeiro, Brazil, Systems Engineering and Computer Science Department, UFRJ*, 1-31.
- Bozheva, T. (2011). *Ventajas de la gestión cuantitativa*. Recuperado de <http://goo.gl/njooT>
- Calvo-Manzano, J., García, I., & Arcilla, M. (2008). Hacia la gestión cuantitativa en la gestión de proyectos en el ámbito de las pymes. *REICIS Revista Española de Innovación, Calidad e Ingeniería del Software*, 4 (2), 7-19
- CMMI Product Team. (2010). *CMMI for Development, Version 1.3*, November 2010. *CMMI-DEV V1.3. Technical Report*, 28-29.
- COMPETISOFT. (2008). *Mejora de procesos para fomentar la competitividad de la pequeña y mediana industria del software de Iberoamérica*. Recuperado de <http://goo.gl/4ji05>
- De la Incera Torres, G. (2009). *Medidas de calidad en proceso, producto y mantenimiento, aplicadas al control estadístico de procesos*. Escuela Superior de Informática de la Universidad de Castilla – La Mancha, España. Recuperado de <http://goo.gl/gWpJF>
- Deshmukh, S.V. & Lakhe, R.R. (2009). Development and validation of an instrument for six sigma implementation in small and medium sized enterprises. *2009 2nd International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET 2009*, art. no. 5395029, 790-797.
- Díaz-Ley, M., García, F., & Piattini, M. (2008). Implementing a software measurement program in small and medium enterprises: A suitable framework. *IET Software*, 2 (5), 417-436.
- Dyba, T. (2000). Improvisation in small software organizations. *IEEE Software*, 17(5), 82-87
- Federación Colombiana de la Industria del Software y Tecnologías Informáticas Relacionadas [Fedesoft]. (2010). *Sector de TI en Colombia año 2010*. Bogotá, Colombia: Fedesoft
- Galinac, T. (2009). Empirical evaluation of selected best practices in implementation of software process improvement. *Information and Software Technology*, 51, 1351-1364
- Gou, L., Wang, Q., Yuan, J., Yang, Y., Li, M., & Jiang, N. (2008). Quantitatively managing defects for iterative projects: An industrial experience report in China. *Lecture Notes in Computer Science*, 5007, 369-380
- Gou, L., Wang, Q., Yuan, J., Yang, Y., Li, M., & Jiang, N. (2009). Quantitative defects management in iterative development with BiDefect. *Software Process Improvement and Practice*, 14(4), 227-241
- Organización Internacional para la Estandarización [ISO]. (2008). *ISO 9001:2008, Sistemas de gestión de la calidad – Requisitos*. Ginebra, Suiza: ISO International Organization for



- Standardization / International Electrotechnical Commission [ISO/IEC]. (2006). *ISO-IEC 15504-5:2006. An exemplar process assessment model*. Ginebra, Suiza: ISO/IEC
- International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission [ISO/IEC]. (2008). *ISO/IEC 12207:2008. Systems and software engineering — Software life cycle processes*. Ginebra, Suiza: ISO/IEC
- International Organization for Standardization / International Electrotechnical Commission [ISO/IEC]. (2011). *ISO/IEC 29110: Software life cycle profiles and guidelines for very small entities (VSEs)*. Ginebra, Suiza: ISO/IEC
- Kanoun, K. (2001). A Measurement-Based Framework for Software Reliability Improvement. *Annals of Software Engineering*, 11(1), 89-106.
- Kim, H.K. & Lee, R.Y. (2009). Frameworks for maturity questionnaire selection model. *Studies in Computational Intelligence*, 253, 135-143.
- Kim, S., Choi, O. & Baik, J. (2011). Quantitative project management framework via integrating Six Sigma and PSP/TSP. *CrossTalk*, 24(4), 6-10
- Kitchenham, B., & Charters, S. (2007). *Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering: Version 2.3*. [EBSE Technical Report, EBSE-2007-01]. Durham, UK: EBSE
- Kojima, T., Hasegawa, T., Misumi, M., & Nakamura, T. (2008). Risk analysis of software process measurements. *Software Quality Journal*, 16(3), 361-376
- Komuro, M. (2006). Experiences of applying SPC techniques to software development processes. *ICSE '06 Proceedings of the 28th International Conference on Software Engineering* (pp.577-584). Piscataway, NJ: IEEE
- Lee, S.W, Kim, H.K., & Lee, R.Y. (2008). Enterprise process model for extreme programming with CMMI framework. *Studies in Computational Intelligence* 131, 169-180
- Lin, M.-S., Cai, C.-X. & Li, J.-H. (2009). Realization and research of a six-sigma-based project management and analysis system. *IFCSTA 2009 Proceedings - 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications* 3, art. no. 5384732, (pp.70-73). Piscataway, NJ: IEEE
- Mandic, V., & Oivo, M. (2010). SAS: A tool for the GQM+strategies grid derivation process. *Lecture Notes in Computer Science*, 6156, 291-305
- Moprosoft. (2011). *NMX-I-059/02-NYCE-2011*. Recuperado de <http://goo.gl/9phyp>
- MPS.BR - Melhoria de Processo do Software Brasileiro. *Guia Geral MPS de Software* (2012) Brasilia, Brasil: Softex
- Nasir, M.H.N., Ahmad, R., & Hassan, N.H. (2008). Issues in the implementation of software process improvement project in Malaysia. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 5(6), 1031-1043
- Nasir, M.H.N., Ahmad, R., & Hassan, N.H. (2008). An empirical study of barriers in the implementation of software process improvement project in Malaysia. *Journal of Applied Sciences*, 8(23), 4362-4368



- Nasir, M.H.N., Ahmad, R., & Hassan, N.H. (2008). Resistance factors in the implementation of software process improvement project in Malaysia. *Proceedings - International Symposium on Information Technology 2008, ITSIm 3*, (art. no. 4631933). Piscataway, NJ: IEEE
- Pan, Z., Park, H., Choi, H., & Baik, J. (2007). A Six Sigma framework for software process improvements and its implementation. *Proceedings - Asia-Pacific Software Engineering Conference, APSEC*, (pp. 446-453). Piscataway, NJ: IEEE
- Pardo, C., Pino, F.J., García, F., Piattini, M., & Baldassarre, T. (2010). A systematic review on the harmonization of reference models. *ENASE 2010 - Proceedings of the 5th International Conference on Evaluation of Novel Approaches to Software Engineering*, (pp.40-47)
- Park, Y., Park, H., Choi, H., & Baik, J. (2006). A study on the application of six sigma tools to PSP/TSP for process improvement. *Proceedings - 5th IEEE/ACIS Int. Conf. on Comput. and Info. Sci., ICIS 2006. In conjunction with 1st IEEE/ACIS, Int. Workshop Component-Based Software Eng, Softw. Archi. and Reuse, COMSAR 2006*, art. no. 1651988, pp. 174-179. Piscataway, NJ: IEEE
- Park, Y., Choi, H. & Baik, J. (2007). A framework for the use of Six Sigma tools in PSP/TSP. *Proceedings - SERA 2007: Fifth ACIS International Conference on Software Engineering Research, Management, and Applications*, (pp.807-814). Piscataway, NJ: IEEE
- Pino, F., García, F., & Piattini, M. (2008). Software Process Improvement in Small and Medium Software Enterprises: A Systematic Review. *Software Quality Journal*, 16(2), 237-261
- Rainer, A., & Hall, T. (2003). A quantitative and qualitative analysis of factors affecting software processes. *Journal of Systems and Software*, (66), 7-21
- Russ, R., Sperling, D., Rometsch, F., & Louis, P. (2008). Applying six sigma in the field of software engineering. *Lecture Notes in Computer Science*, 5338, 36-47
- Silva Filho, R.C., & Da Rocha, A.R.C. (2010). Towards an approach to support software process simulation in small and medium enterprises. *Proceedings - 36th EUROMICRO Conference on Software Engineering and Advanced Applications, SEAA 2010*,(pp.297-305). Piscataway, NJ: IEEE
- Software Engineering Institute. (2011). CMMI for SCAMPI Class A Appraisal Results 2011 Mid-Year Update. September 2011. Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University
- Subramanian, G.H., Jiang, J.J. & Klein, G. (2007). Software quality and IS project performance improvements from software development process maturity and IS implementation strategies. *Journal of Systems and Software*, 80, 616-627.
- Tarhan, A., & Demirörs, O. (2006). Investigating suitability of software process and metrics for statistical process control. *Lecture Notes in Computer Science*, 4257, 88-99
- Van Solingen, R. (2009). A follow-

up reflection on software process improvement ROI. *IEEE Software*, 26(5), 77-79

Vijaya, G., & Arumugam, S. (2010). Monitoring the stability of the processes in defined level software companies using control charts with three sigma limits. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 7(10), 1230-1239

Wang, Q., Gou, L., Jiang, N., Che, M., Zhang, R., Yang, Y., & Li, M. (2007). An empirical study on establishing

quantitative management model for testing process. *Lecture Notes in Computer Science*, 4470, 233-245

Xiaosong, Z., Zhen, H., Fangfang, G., & Shenqing, Z. (2008). Research on the application of six sigma in software process improvement. *Proceedings - 2008 4th International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IHH-MSP 2008*, art. no. 4604204, 937-940. Piscataway, NJ: IEEE

## ***Curriculum vitae***

### **Carlos A. Ardila**

Ingeniero de Sistemas de la Universidad Industrial de Santander (Colombia). Es estudiante de maestría en computación en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Es profesor asistente adscrito a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Sus intereses de investigación se enfocan en el área de calidad y mejoramiento de procesos de desarrollo de software.

### **Francisco J. Pino**

Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca (Colombia). Especialista en Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad del Cauca. Es estudiante de doctorado en la Escuela Superior de Informática de la Universidad Castilla-La Mancha, en Ciudad Real (España). Es profesor asistente adscrito a la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca. Sus intereses de investigación se enfocan en el área de calidad y mejoramiento de procesos de desarrollo de software.